
3. UN VIATGE EXTRAORDINARI AL MÓN DE L'AIGUA

Gregori València*

Viatjar és avui fàcil i l'oferta, diversa i temptadora. A través de l'aigua es proposa un viatge que ha de permetre satisfer la curiositat de qualsevol lector mínimament agosarat. L'aventura començarà al fons de les molècules de l'aigua, on ens caldrà cercar explicacions per a l'exotisme de les seves propietats. El camí continuarà per cruïlles a cavall entre la geosfera i la biosfera, a través de panorames sempre de dimensions espectaculars i gegantines. La crua realitat de les terres eixutes del desert, la immensitat dels corrents oceànics i la solitud dels gels polars no escaparà a la contemplació guiada pel paper únic que l'aigua té en aquests ambients. Finalment, la visió de la transcendència de l'aigua en les reaccions químiques més íntimes que suporten la vida ens sorprendrà. A partir d'aquestes experiències, res no serà com abans, ja que retornarem a la realitat de cada dia conscients que l'aigua és un bé fràgil i escàs que cal apreciar i mai no malgastar.

3.1. CIENTÍFICS I GUIES TURÍSTICS, DUES FEINES NO TAN LLUNYANES

En els darrers temps res no sembla fàcil, fins i tot, per a molts no ho és guanyar-se el pa. Desenganyem-nos-en, no ha estat mai

* Unitat de Química i Bioquímica de Proteïnes, Centre d'Investigació i Desenvolupament (CID-CSIC). Jordi Girona, 18-26. 08034 Barcelona.

Aigua

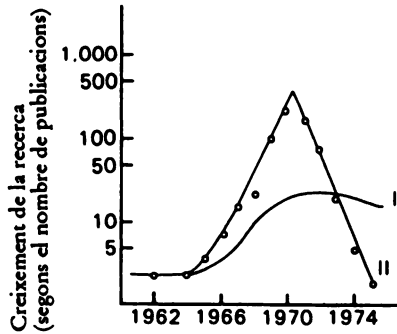
fàcil, això. La feina del científic, com ara la del guia turístic, tampoc no ho és, de regalada. Com en qualsevol altra activitat de tot procés productiu, en aquesta societat, fer ciència i conduir turistes són tasques cada vegada més competitives. Criteris de productivitat són, també en ciència, esgrimits a l'hora de prioritzar, finançar, incentivar i promoure tasques i treballadors.

Com en la indústria turística, la feina científica tampoc no escapa de la moda. Tal com en temps no gaire llunyans era novetat viatjar a Londres, en ciència ha estat moda el càncer, i avui ho és la sida i els superconductors. També la moda ha colpit un tema, a primera vista, tan poc estratègic i aparentment intranscendent com l'aigua.

3.2. UNA SUBSTÀNCIA ANOMENADA *POLIAIGUA*

Aquesta història va començar a Kostrona, una petita vila al nord-est de Moscou, a la dècada dels seixanta i de la mà de Nikolai Fedyakin. Fou allí on es va observar, per primera vegada, un líquid que, derivat d'aigua pura atrapada en finíssims tubs capil·lars de vidre, tenia propietats excepcionals i, alhora, responia a la fórmula química de l'aigua. Aquesta substància, coneguda primer per *aigua anormal* i després dita *poliaigua*, tenia propietats com ara que en ésser escalfada fins a 150 °C no donava senyals d'entrar en ebullició. Tampoc no es produïa gel normal quan era refredada fins i tot a -30 °C.

Tal com demostra la història, la paternitat del descobriment no va trigar a canviar de mans. Aquestes foren les del prestigiós científic Borís V. Deryagin que cap al 1962 treballava a l'Institut de Química Física de Moscou. El canvi de paternitat fou confirmat en la primera presentació d'aquesta descoberta a una audiència de científics occidentals l'any 1966 a Anglaterra. És a partir d'aquest moment que el fenomen *poliaigua* pren dimensions insospitades. En un temps en què els recursos que es dediquen a la ciència en certes nacions com ara els Estats Units, semblaven il·limitats, tot-hom es va veure amb cor per arriscar-se en l'estudi de la poliaigua. La febre inicial és ja una epidèmia el 1968, i arriba a un màxim d'activitat el 1970 (fig. 1). L'interès per aquest tema involucra fins i tot a la U. S. Navy, ja que es preveia un ús militar a l'estranya substància. El tema, òbviament, arribà als diaris i se'n féu bandera



- I. Corba de desenvolupament normal d'una àrea de recerca nova.
II. Corba de desenvolupament de la recerca sobre la poliaigua (es correspon amb el desenvolupament d'una epidèmia).

FIGURA 1

en comentaris com ara: «Els EUA avantatgen l'URSS en la recerca de la poliaigua».

Malgrat aquesta eufòria, en la qual es va invertir una quantitat gens negligible de recursos humans i materials, l'evidència que tot plegat era una gran fallada no es va fer esperar. Encara que l'any 1975 es poden trobar treballs científics que parlen de la poliaigua, l'epidèmia estava eradicada i el cas tancat i vist per a sentència. La moda de la poliaigua havia passat. Com bons turistes viatgers, desenganyats però contents després d'un viatge organitzat a Londres, els científics no n'hem après gaire, del cas de la poliaigua. Els horitzons de la ciència ens atrauen, i, davant d'una oferta temptadora, possiblement tornarem al nostre Londres i tornarem a encetar un altre cas semblant al de la poliaigua.

3.3. LA MEMÒRIA, UNA NOVA PROPIETAT DE L'AIGUA

Com tota activitat humana, la feina dels científics també es fa a base d'encers i fallades. Dissortadament, una de les similituds amb altres ocupacions és que la ciència es fa sovint actualitat més per les fallades que no pels encerts. Un dels darrers casos més sonats i que fa referència a l'aigua es va produir l'any 1988. El pro-

tagonista d'aquest cas es diu Jacques Benveniste i treballa a l'INSERM, Universitat de París-Sud. Benveniste és famós perquè va publicar a la revista *Nature* un treball científic (fig. 2) basat en uns experiments que, si fossin totalment certs, haurien permès de posar la primera pedra de la demostració experimental de la teoria homeopàtica.

En el treball en qüestió, Benveniste exposa que un determinat tipus de glòbuls blancs, els basòfils, que tenen anticossos del tipus de la immunoglobulina E, responen a solucions extremament diluïdes dels corresponents antianticossos de la immunoglobulina E. Malgrat que aquestes solucions no tenen matemàticament cap mena de vestigi dels principis biològics originaris, podran ser actives gràcies a les propietats úniques de l'aigua, que podria recordar la informació biològica que li ha estat transmesa, en aquest cas, pels antianticossos de la immunoglobulina E.

L'escàndol i la controvèrsia no es van fer esperar. *Nature*, per intentar aclarir el cas, va enviar un comitè d'experts al laboratori de Benveniste per estudiar detalladament els resultats. Molt curiós és el fet que en aquest equip també hi havia un famós especialista en fenòmens paranormals. El comitè va concloure que algun dels errors estadístics que es van poder trobar permetrien invalidar els resultats del treball.

Tota aquesta polseguera quasi acaba amb l'acomiadament de Benveniste i la retirada dels fons de finançament per a aquest tre-

Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE

E. Davenas, F. Beauvais, J. Amara*, M. Oberbaum*, B. Robinzon†, A. Miodonaz‡, A. Tedeschi‡, B. Pomeranz‡, F. Fortner§, P. Belon, J. Salote-Laudy, B. Pollevin & J. Benveniste¶

INSERM U 310, Université Paris-Sud, 32 rue des Cornets, 921-00 Clamart, France

* Rafti Ben Ael Institute of Clinical Immunology, Kaplan Hospital, Rehovot 76100, Israel

† Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, PO Box 12, The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot 76100, Israel

‡ Department of Internal Medicine, Infectious Diseases and Immunopathology, University of Milano, Ospedale Maggiore Policlinico, Milano, Italy

§ Departments of Zoology and Physiology, Romney Wright Zoological Laboratories, University of Toronto, 25 Harbord Street, Toronto, Ontario M5S 1A1, Canada

¶ To whom correspondence should be addressed.

When human polymorphonuclear basophils, a type of white blood cell with antibodies of the immunoglobulin E (IgE) type on its surface, are exposed to anti-IgE antibodies, they release histamine from their intracellular granules and change their staining properties. The latter can be demonstrated at dilutions of anti-IgE that range from 1×10^6 to 1×10^{20} ; over that range, there are successive peaks of degranulation from 40 to 60% of the basophils, despite the calculated absence of any anti-IgE molecules at the highest dilutions. Since dilutions need to be accompanied by vigorous shaking for the effects to be observed, transmission of the biological information could be related to the molecular organization of water.

FIGURA 2

ball. Malgrat aquestes contrarietats, no ha deixat de treballar en aquest tema i fins i tot, de manera més discreta, ha publicat un article posterior. En definitiva, després del cas Benveniste, l'efecte del principis actius altament diluïts i amb ell la memòria de l'aigua han quedat tocats pel dubte.

3.3. PER QUÈ L'AIGUA

Començar un viatge d'aquesta manera poster us sorprendrà, però, qui no ha pujat a un avió i ha comentat amb el company de seient els darrers accidents o incidents, per sort poc freqüents, de l'aviació moderna? Així mateix, qui no ha sentit les queixes del guia de torn? Parlant d'experiències personals, potser també heu arribat a la conclusió que tot viatge té un component agre dolç. «Viatjar» vol dir, tot d'una, marxar de casa i abandonar les petites comoditats quotidianes, però també engrescar-se amb la perspectiva de deixar enrera la rutina diària, gaudir del descobriment de nous ambients i enriquir-se amb noves experiències. Això no és tot, malgrat que una vegada repensat, el balanç entre aquests components de la fugida ens acaba semblant positiu, sempre hi ha el dubte de si hem triat la millor opció per a la destinació del nostre viatge.

La destinació, en aquest cas, és l'aigua, però no es pot retreure que penseu: que té l'aigua de particular? Tan sols un àtom d'oxigen unit a dos d'hidrogen; això és la fórmula del aigua, ben senzilla i coneguda. A primera vista, sembla que tot el que calgui conèixer d'un producte químic tan simple es pugui trobar escrit en poques ratlles de qualsevol llibre de química.

L'aigua també és un dels productes més abundants de la Terra, on quasi totalment es concentra en els oceans que la cobreixen en un 71 % de la seva superfície, amb una profunditat mitjana de més de quatre quilòmetres. Per tant, posats a triar, què li hem vist d'exòtic a un producte tan abundant com l'aigua?

3.5. CERCANT-NE L'ORIGEN

Aquesta quantitat immensa d'aigua, formada a l'interior extremament calent del planeta a partir d'àtoms d'oxigen i d'hidrogen,

Aigua

va quedar atrapada per combinació en roques silícies que varen construir la Terra en el seu inici. Les joves molècules, un cop formades, foren transportades a la superfície per rius de lava i alliberades a l'atmosfera en forma de vapor. Quan el planeta es va refredar, les masses nuvoloses producte d'aquesta evaporació, descarregaren l'aigua i originaren el que ara anomenem *oceans*. Malgrat que sembli contradictori, el que un dia foren pedres, avui són oceans.

3.6. L'AIGUA ÉS UN LÍQUID?

El primer que advertim en l'aigua és el fet que és un líquid a temperatura ambient. Vista la mida de la seva molècula, aquesta característica li és perfectament anormal, ja que altres substàncies de fórmula semblant, com l'amoníac (NH_3), el metà (CH_4) i, fins i tot la més propera, el sulfur d'hidrogen (SH_2) són gasos.

Aquesta irregularitat es pot precisar millor amb un terme característic de l'estat líquid, el punt d'ebullició. En concret, els científics sabem avui que el punt d'ebullició d'un líquid depèn, entre d'altres factors, de la grandària de les molècules, seguint el principi que diu que, com més petites són, més baix és el punt d'ebullició. És per això que si comparem l'aigua amb altres substàncies que tenen unes dimensions moleculars similars, com ara les esmentades, l'aigua hauria de bullir a una temperatura tan baixa com -93°C .

Un raonament més acurat que té en compte les lleis que regeixen el sistema periòdic dels elements ens condueix també a un resultat semblant: l'aigua hauria de bullir a una temperatura antàrtica d'aproximadament -80°C . Les propietats dels elements que formen part d'un mateix grup del sistema periòdic varien amb una certa regularitat en passar dels elements més lleugers als més pesants. Tanmateix, les propietats dels seus derivats no varien tampoc a l'atzar, sinó que depenen de la posició que ocupen els seus elements respectius en la taula que va arranjar Mendeleiev.

Això succeeix amb els productes hidrogenats o hidrurs, dels quals l'aigua —o hidrur d'oxigen— n'és un exemple. L'oxigen pertany al sisè grup, juntament amb el sofre, seleni, tel·luri i poloni. Les molècules dels hidrurs respectius tenen fórmules anàlogues a l'aigua (H_2S , H_2Se , H_2Te , H_2Po) i els seus punts d'ebullició varien

Un viatge extraordinari al món de l'aigua

d'una manera regular en passar del sofre als altres elements més pesants. L'aigua trenca completament aquesta harmonia perquè el seu punt d'ebullició sobresurt bruscament entre els elements del grup i de l'entorn (taula 1) i és molt més alt del que li pertoca. L'aigua no respecta les lleis establertes per la taula de Mendeleiev i desplaça el seu punt aproximadament 180 °C per sobre del que li és previst.

L'estat líquid de l'aigua s'explica per la presència en la seva molècula de dos àtoms petits com els de l'hidrogen, parells aïllats d'electrons en l'àtom d'oxigen i la capacitat d'aquest darrer per atreure fortament altres electrons. Aquests factors fan que les molècules d'aigua perdin la seva independència i s'uneixin a través del que els químics anomenen *enllaços d'hidrogen* (fig. 3). Mitjançant aquests lligams, una molècula d'aigua es pot vincular amb d'altres quatre que, al seu torn, es poden interrelacionar amb d'altres que en són veïnes. Com a resultat d'aquesta ordenació que constantment està en estat dinàmic de formació-desintegració, l'aigua se'ns presenta com un líquid mòbil i no com un gas típic, en el qual les molècules tenen una independència quasi total.

Aquesta peculiar estructura de l'aigua té una altra conseqüència en els seus estats físics. L'aigua es congela i esdevé un sòlid a una temperatura inesperadament alta pel fet que els lligams entre les seves molècules són prou forts. Aquesta és un altra de les característiques de l'aigua que tampoc no segueix les lleis establertes en el sistema periòdic, ja que hauria de convertir-se en gel al voltant dels -100 °C (taula 1).

Aquestes dues propietats de l'aigua tan anòmales en magnitud són la base del primer instrument per mesurar la temperatura. Cu-

TAULA I
Propietats d'alguns hidrurs

	<i>Punt de fusió (°C)</i>	<i>Punt d'ebullició (°C)</i>
NH ₃	-77	-33,4
OH ₂	0 (-100)	100 (-80)
FH	-83,0	19,5
SH ₂	-85,5	-60,5
SeH ₂	-41,5	-66,0

Aigua

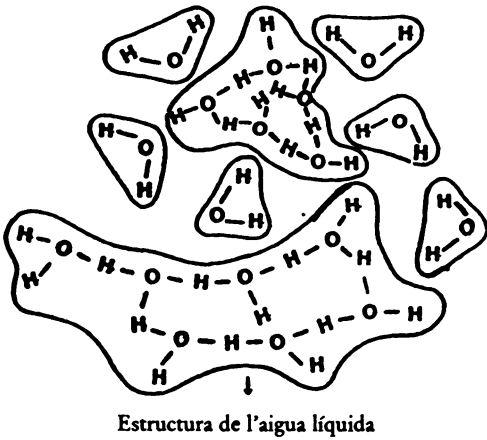
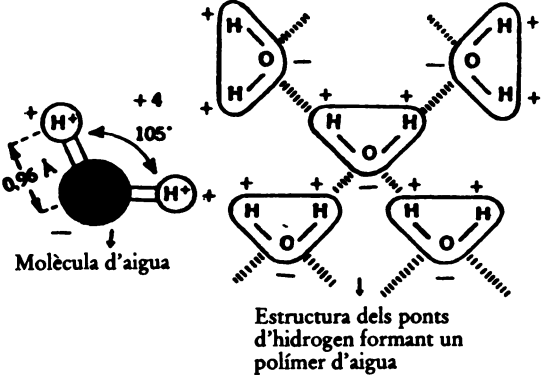


FIGURA 3

riosament, quan Celsius va inventar el termòmetre no era conscient que dues irregularitats com la temperatura d'ebullició i la temperatura de congelació de l'aigua permetrien construir un dels instruments de més gran abast.

3.7. EL TITÀNIC, UNA VÍCTIMA FAMOSA DELS ENLLAÇOS D'HIDROGEN

Les exòtiques propietats de l'aigua no s'acaben amb el fet in-sospitat d'ésser un líquid. La majoria dels sòlids tenen una densitat més gran que els líquids dels quals provenen per congelació. Un exemple n'és el benzè sòlid, que s'enfonsa, perquè és més dens, en el si del seu estat líquid. Així mateix, sòlids com ara els metalls són més densos que els líquids que originen per fusió. Lògicament, una peça de metall sòlid no sura i, per tant, s'enfonsa en ésser depositada sobre el mateix metall en estat de fusió.

Aquestes observacions, de les quals es podria fer una llei natural d'abast general, tenen una clara excepció. El gel a 0 °C té una densitat més petita que l'aigua a 0 °C; per tant, el gel sura sobre de l'aigua. Així podem gaudir d'autèntiques muntanyes de gel navegant pels oceans i de paisatges amb rius i llacs recoberts amb un tel de glaç.

Aquesta estranya densitat és també una conseqüència dels enllaços d'hidrogen. Quan l'aigua es congela, les seves molècules tendeixen simultàniament a apartar-se i a aferrar-se fortament d'enllaços d'hidrogen. Cada molècula individual tendeix a retenir fortament lligades les seves veïnes, mantenint-les, però, a una distància més gran que en estat líquid. L'estructura del sòlid resultant és més oberta o buida que la del líquid de partida i, per tant, menys densa.

Aquest fenomen, que hom explica pels enllaços d'hidrogen, ha tingut conseqüències històriques tràgiques, com ara que el viatge inaugural del transatlàntic *Titànic* acabés en una catàstrofe. Com és ben sabut, el *Titànic* deu la seva fama al fet trist que l'any 1912 ensopegà amb un iceberg i s'enfonsà. Des d'un punt de vista estrictament químic, el *Titànic* va ser víctima dels enllaços d'hidrogen que fan que el gel sigui menys pesant que l'aigua i que, per tant, puguin manifestar la seva força brutal en les masses de gel que formen els icebergs.

Aigua

Una vessant ecològica molt més transcendent d'aquest fet és que la congelació dels rius i els llacs es produeix des de la superfície cap a l'interior. La capa de glaç que inicialment es forma aïlla l'aigua de l'interior i la manté líquida al llarg de l'hivern. La vida aquàtica pot, d'aquesta manera, continuar en el fons dels aqüífers glaçats en condicions climàtiques extremament rigoroses.

3.8. DILATACIONS INESPERADES

Aquest canvi d'estructura, en passar de sòlid a líquid, fa que l'aigua sigui també anormal en un altre aspecte relacionat amb la densitat. És ben sabut que els cossos es dilaten amb la calor i es contrauen quan es refreden. Aquest principi tampoc no es pot aplicar a l'aigua. El fet que tingui la màxima densitat a una temperatura d'aproximadament 4 °C fa que, per sota d'aquest nivell, si continuem refredant, s'observi que, en lloc de contraure's, augmenta de volum fins a un màxim que coincideix amb el punt de congelació. Ben segur que heu experimentat aquest fenomen en intentar refrescar a corre-cuita una ampolla de bon beure. En posar-la al congelador, el vidre es comporta amb normalitat i es contrau quan es refreda, però l'aigua augmenta el seu volum, i el moment fatídic arriba quan es congela. Els enllaços d'hidrogen un altre cop ens porten al fracàs: l'ampolla es trenca i el contingut es perd dintre del congelador.

La natura sap aprofitar aquest fet per anar reduint a pols pedres tan dures com el granit, i contribueix d'aquesta manera a la formació de nous terrenys. L'aigua de la pluja, un cop ha penetrat i ha omplert les esquerdes que hi ha a les roques, es pot congelar i, per mitjà de la pressió del gel, fragmentar fàcilment la pedra.

3.9. EL COLOR DE L'AIGUA

El primer que se'ns diu de l'aigua és que és un líquid que no té color, olor ni gust. De l'olor i el gust, tots en sabem prou per dir que aquestes propietats sensorials a l'aigua li provenen de les substàncies que hom hi afegeix i dissol.

Un viatge extraordinari al món de l'aigua

Del color de l'aigua pura podem argumentar que, contra un fons blanc, és lleugerament blau si s'observa un gruix d'aproximadament dos metres. El lleuger color de l'aigua és causat pels omnipresents enllaços d'hidrogen. Així, quan una molècula d'aigua vibra, tiba i empeny successivament les veïnes, a les quals està lligada per enllaços d'hidrogen. Aquest moviment es fa gràcies a una petita quantitat d'energia que s'absorbeix en la zona del color vermell de l'espectre visible de la llum que la travessa, que fa que quedi tenyida d'un lleuger color blau cel. Per la mateixa raó, aquests tons blaus també es poden observar en el gel.

3.10. MAGATZEM DE CALOR

Un altre fet sorprenent és que l'aigua té una calor específica anormalment alta. Per a aquesta propietat física també hi ha una norma de compliment general que l'aigua tampoc no respecta. Es compleix que la calor específica d'una substància en estat sòlid és més alta que la de la mateixa substància en estat líquid.

La calor específica de l'aigua líquida és una caloria per gram per cada grau de temperatura que s'augmenta; en canvi, per al gel, aquest valor és exactament la meitat. Curiosament, una altra vegada es pren, com a valor unitari i de referència per a una magnitud física, el valor d'una de les substàncies més anòmales que coneixem. Aquesta calor específica tan elevada (l'amoniac és l'únic líquid conegut que té aquesta constant més alta que l'aigua) ens diu que l'aigua té una gran capacitat per emmagatzemar energia. En altres paraules, quan subministrem energia en forma de calor a l'aigua, tan sols una petita part és utilitzada per augmentar la temperatura; la resta hi queda acumulada. Paral·lelament podem dir que, per fondre el gel, necessitem una gran quantitat de calor, molta més que no pas per fondre la mateixa quantitat de qualsevol altra substància. Contràriament, quan l'aigua es congela, aquesta calor és alliberada un altre cop.

Aquesta capacitat calorífica de l'aigua té unes implicacions ecològiques indiscutibles en la regulació del clima. Amb l'arribada dels primers freds, l'aigua es comença a congelar en forma de gel i neu; per tant, la calor que ella ha anat acumulant és alliberada en aquest procés i escalfa la terra i l'aire. D'aquesta manera, el pas cap als dies freds de l'hivern no es fa sobtadament, i podem gaudir de la tardor.

Aigua

Continuant el cicle climàtic, trobem que, en descongelar-se el gel i la neu, es retarda l'arribada dels dies calorosos de l'estiu, car l'aigua està absorbint una gran quantitat de calor en aquest procés, i es produeix, per tant, la primavera.

3.11. EL GULF STREAM, UN RIU DE CALOR

Aquesta propietat també possibilita que els corrents oceànics tinguin una gran transcendència en la regulació del clima. Per exemple, el *Gulf Stream*, que arrossega aigua a una velocitat tan lenta com 8 km/h de les zones de clima tropical de les Antilles cap a les regions fredes del nord de l'Atlàntic, va alliberant la calor acumulada a l'atmosfera. Malgrat que les dimensions d'aquest corrent són equivalents a mil vegades el Mississipí, més impressionants són les xifres que indiquen la quantitat de calor implicada en aquest procés.

Aquesta massa d'aigua d'aproximadament 80 km d'amplària per 460 m de fondària (4.000 milions de tones d'aigua per minut) allibera a l'aire una quantitat d'energia equivalent a la que seria generada per la combustió d'uns dos-cents bilions de tones de carbó. Això vol dir cremar les dues terceres parts de la producció mundial de carbó d'un any. Gràcies a l'elevat valor de la calor específica de l'aigua l'energia acumulada per la massa líquida del *Gulf Stream* a les zones càlides del tròpic és alliberada gradualment en les zones fredes de l'Atlàntic Nord. Aquesta energia en forma de calor refreda i escalfa a la vegada zones climàtiques extremes, és a dir, permet temperar o, si més no, evitar violentes fluctuacions de temperatura en una gran part de la superfície terrestre.

3.12. UNA BONA PANTALLA SOLAR

Una altra característica de l'aigua, d'una importància fonamental per al planeta i relacionada amb la gran capacitat per emmagatzemar calor, és la forta absorció en la zona de l'espectre d'infraroig i la transparència de les seves molècules a la radiació visible i ultraviolada pròxima. Aquest fet permet que la radiació solar arribi a la superfície de la Terra durant el dia. Per contra, disminueix la

pèrdua de calor per radiació infraroja durant la nit. D'aquesta manera, l'aigua de l'atmosfera, en atrapar els rajos infrarojos que emet el planeta durant la nit, evita oscil·lacions violentes entre temperatures diürnes i nocturnes.

3.13. UNA TENSIÓ IMPORTANT

Després de llegir aquesta i d'altres informacions, molt possiblement estareu d'acord que la freqüència amb què es donen les meravelles de la natura fa que fenòmens extraordinaris deixin de sorprendre'ns, ja que formen part de la rutina de cada dia. Un dels molts que podríem esmentar és el fet que la pluja es manifesti en forma de gotes d'aigua més o menys rodones. Darrera aquesta singularitat s'amaga una de les excèntriques propietats de l'aigua: la tensió superficial.

Excepte el mercuri i algunes sals en estat de fusió, l'aigua té la tensió superficial més alta que qualsevol substància coneguda, i és per això que podríem dir que és anormalment alta. La tensió superficial ens dóna una idea de les forces que fan que l'aigua no s'estengui en una superfície com ho farien l'oli o la gasolina i que es mantingui en forma de gotes.

Si l'aigua no tingués aquesta gran tensió superficial, amb l'ajut de la brisa més insignificant el mar vessaria i s'estendria per sobre de les costes que l'envolten. També, poca cosa farien els impermeables i els paraigües davant d'una aigua amb poca tensió superficial, ja que seria capaç d'infiltrar-se pels forats més recòndits. Per sort, l'aigua rebaixa fàcilment aquesta tensió en dissoldre petites quantitats de productes que en diem *tensioactius*. Aquest fenomen, que no presenten altres líquids, ens permet entendre per què l'aigua o, en aquest cas, la saba dels arbres pot ascendir pels vasos capil·lars dels seus troncs fins a distàncies insospitades de noranta metres o més d'altura per alimentar-ne les parts més altes. Així mateix, té sentit fregar-se les mans amb la pastilla de sabó i afegir detergent a l'aigua per rentar la roba o els plats, ja que, altrament, la gran tensió de l'aigua no ens permetria aquestes pràctiques d'higiene.

3.14. UNA ATURADA EN EL CAMÍ

Fins aquí, no us sembla que ja tenim prou arguments, amb les propietats esmentades, per entendre que l'aigua és qualsevol altra cosa menys un líquid típic? No és arriscat assegurar que us serà difícil de trobar una propietat de l'aigua que se'n pugui dir «normal».

Aquest viatge d'aproximació al coneixement de les propietats de l'aigua ens ha portat a veure algunes de les conseqüències que això té en l'entorn natural que ens envolta. Ara bé, aquestes excentricitats de l'aigua són també d'una importància capital en molts aspectes de la ciència i la tècnica. Aquesta opció, malgrat que sigui temptadora, ens portaria per camins més civilitzats, molt lluny dels nostres objectius inicials. Per tant, el viatge continuarà per indrets més agrests per fer-vos fruir del fascinant paper que l'aigua té a mantenir, suportar i fer possible la vida en el nostre planeta.

3.15. RESPIRAR, UNA ACTIVITAT VITAL

L'aigua intervé en quasi totes les reaccions bioquímiques que governen el metabolisme i el creixement. Un bon exemple n'és la manera que té el cos humà de proveir-se d'energia. Els aliments que prenem ens aporten hidrats de carboni, que són els precursors de l'energia necessària per portar a terme totes les funcions fisiològiques. La conversió d'hidrats de carboni en energia es pot representar simplement, en termes químics, per la combustió de la glucosa en presència d'oxigen per formar aigua i diòxid de carboni. Aquesta informació es pot representar esquemàticament de la manera següent:



El volum d'aigua que un ésser humà consumeix en un dia es situa al voltant dels 2,5 litres. Aquesta quantitat d'aigua es perd en forma de vapor per la respiració i com a líquid per la suor i l'orina. Malgrat que el menjar i el beure aporten la major part d'aquesta

Un viatge extraordinari al món de l'aigua

aigua, la combustió dels aliments segons l'equació anterior n'és un altra font. Segons uns càlculs senzills, aquest procés ens aporta uns 0,3 litres d'aigua per dia i persona i ni més ni menys que 32 milions de calories aproximadament! Si aquesta energia fos alliberada en forma de calor, es produiria un augment fatal de la temperatura corporal de 26 °C. Els organismes tenen mitjans per mantenir la temperatura corporal constant i conduir aquesta energia cap a utilitats vitals. Això és possible per mitjà d'una sèrie de subtils i complexes reaccions químiques, cada una d'elles regulada per un enzim, en les quals l'aigua també té un paper molt important.

Val a dir també que aquesta reacció necessita 185 litres d'oxigen per dia i per persona. Si considerem que l'aire té un 21 % d'oxigen i que els pulmons humans tenen una eficiència del 14 %, tot plegat vol dir que diàriament hem de respirar uns 6.300 litres d'aire. Encara que aquestes xifres no es relacionen amb el cas de l'aigua, convindreu que ens donen una idea clara de fins a quin punt l'home és dependent del seu entorn.

3.15. LES PLANTES, ALIADES INCONDICIONALS

Si els hidrats de carboni i l'oxigen que els animals utilitzen per via de la respiració no fossin regenerats, les reserves d'aquests principis s'acabarien ben aviat. L'equilibri natural és aconseguit mitjançant el treball de les plantes, que fan la mateixa operació però en sentit contrari. A partir d'aigua i de diòxid de carboni, amb la intervenció de l'energia del Sol sintetitzen els hidrats de carboni i generen oxigen. El regne vegetal, per a aquesta senzilla i vital operació, necessita cada dia un volum de 3 bilions de litres d'aigua. La grandiositat d'aquesta xifra ens reafirma en la conclusió de la total dependència de l'home respecte al seu entorn i, en especial, respecte al treball de les plantes per subministrar-nos aliments o oxigen.

3.17. DISSOLVENT UNIVERSAL

L'aigua és un dels millors dissolvents coneguts. Per portar a terme la seva acció, ha de debilitar les forces que actuen entre els àtoms o les molècules que formen part de les substàncies sòlides.

Aigua

En debilitar aquestes forces, les molècules poden separar-se de la superfície del sòlid i passar al si de l'aigua. D'aquesta manera, un terròs de sucre ens endolceix el cafè o els ions de la sal ens salen el menjar. Una explicació més acurada per a aquest fenomen implica fer ús de l'estructura de l'aigua. L'aigua dissol el sucre perquè les molècules de tots dos poden formar enllaços d'hidrogen entre si. Així mateix, la sal es dissol en aigua perquè les molècules d'aigua simulen l'entorn dels ions de la sal en la seva estructura de cristall. Tècnicament, això s'explica perquè les molècules de l'aigua tenen una forma angular amb un moment dipolar permanent, una constant dielèctrica alta i uns enllaços d'hidrogen forts.

3.18. CIMENT BIOQUÍMIC

Encara que dissoldre i cimentar semblin contradictoris, un altre aspecte del poder dissolvent de l'aigua és el fet que actua com a ciment bioquímic en el sentit que pot suportar o estabilitzar estructures biològiques. Per intentar aclarir aquesta contradicció aparent, podem examinar un exemple d'estructura que estabilitza l'aigua: els enzims.

Amb trets generals, podem dir que els enzims són substàncies que la natura ha desenvolupat per tal de fer possible les reaccions bioquímiques necessàries per al creixement, el metabolisme i les altres funcions fisiològiques. Els enzims són proteïnes, molècules gegants, construïdes per les cèl·lules en unir el cap i la cua de molècules molt més simples anomenades *aminoàcids*. La idea d'una estructura com aquesta està molt ben representada per un collaret de perles en el qual les perles són els aminoàcids. Els enzims, com els collarets de perles, es poden disposar de moltes maneres en l'espai, cargolant-se, torçant-se o plegant-se. Aquesta disposició espacial dels enzims és tan important que podem dir que, per tal d'exercir la seva activitat, per a cada enzim hi ha tan sols una manera de disposar-se en l'espai i que aquesta és diferent per a cada un d'ells.

Realment els científics encara no coneixem prou bé el conjunt de forces que fan possible aquesta disposició particular de cada enzim en l'espai (vegeu, per exemple, l'estructura tridimensional de la α -quimotripsina a la figura 4). Ara bé, s'ha comprovat que l'ai-

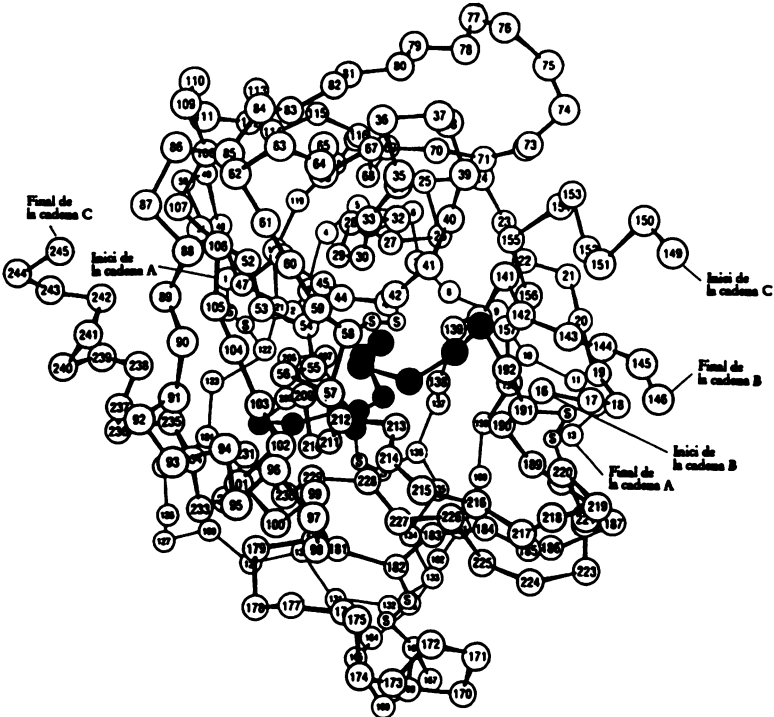


FIGURA 4. Estructura tridimensional de la α -quimotripsina.

gua, fent de ciment bioquímic, és necessària per aconseguir aquest resultat final. En aquest sentit, si per qualsevol motiu la dissolució aquosa que envolta l'enzim canvia la seva composició, la proteïna perd la forma natural i, per tant, l'activitat.

Tal com es desprèn d'aquests arguments, les forces que actuen entre l'aigua i la proteïna són molt petites i poden ésser pertorbades molt fàcilment. Una idea d'aquesta fragilitat del sistema ens la dóna l'argument següent. Tan sols les formes més senzilles de la vida, com són els protozoos, poden créixer en un medi en el qual s'ha substituït l'aigua per aigua deuterada. Per a formes de vida superior, l'aigua deuterada no és res més que un verí acumulatiu. Malgrat que aquest tipus d'aigua sigui una substància natural que es troba en petites quantitats barrejada amb l'aigua corrent i que químicament siguin molt semblants, els seus efectes sobre els éssers vius són molt diferents.

Aigua

El paper estructural de l'aigua en la biologia no es limita als enzims, els quals hem pres com a exemple. Així mateix, l'aigua ajuda a mantenir la integritat d'altres estructures biològiques essencials, com és ara la doble hèlix de l'ADN.

3.19. UN MITJÀ DE TRANSPORT

De les funcions estructurals de l'aigua podríem treure la conclusió que aquest líquid té un paper simplement estàtic. L'altra cara de la moneda és l'aigua vista com a fluid biològic. L'aigua transporta els components essencials per a la vida, com ara nutrients i oxigen, als llocs on aquests són requerits i, de tornada, recull els productes resultants del metabolisme que han d'ésser necessàriament excretats. Per il·lustrar aquest comportament, tan sols a tall d'exemple, es poden donar les xifres següents. Cada batcada del cor fa moure 70 ml de sang, i, ates que ho fa 70 vegades per minut, un càlcul senzill ens diu que cada dia el cor fa circular, per tot el cos, aproximadament 7.000 litres de sang. També altres òrgans, com són els ronyons, per portar a terme la seva funció purificadora han de reciclar cada dia quantitats considerables d'aigua.

3.20. DISTRIBUCIÓ *VERSUS* DISSOLUCIÓ

El fet que l'aigua tingui un gran poder dissolvent ens pot fer creure que els éssers vius, com les dissolucions, tenen una composició d'aigua homogènia. Les diferents formes de vida i els diferents teixits d'un mateix individu tenen diferents proporcions d'aigua. Dos casos contraposats: el cos humà i la medusa tenen, respectivament, el 60 % i el 99,5 % (en pes) d'aigua en la seva composició corporal. Aquestes xifres no volen dir que la distribució de l'aigua en els seus cossos sigui uniforme. Per a l'home, el cervell i els músculs són els òrgans més rics en aigua, mentre que els ossos i els greixos són els més pobres.

A escala microscòpica i cel·lular hi ha també una distribució irregular. Però a part de saber que cada cèl·lula necessita un mínim d'aigua, hem de reconèixer que som molt ignorants de les propietats de l'aigua dintre de la cèl·lula. L'estat, la distribució, la funció

i, fins i tot, els mecanismes de control d'entrada i sortida de la cèl·lula ens són encara desconeguts. És per això que no tenim cap explicació per a fets com aquest. En refredar els teixits, ens trobem que el 20 % de l'aigua que contenen no es congela fins i tot a temperatures molt baixes. Sembla com si algunes molècules d'aigua es trobin encloses i fixes de tal manera que, quan la temperatura baixa, no poden anar a cercar el seu lloc als cristalls de gel que les seves veïnes ja han format.

3.21. ENTORNS EXTREMS

L'aigua té una densitat tan alta en comparació amb l'aire que fa que qualsevol cos sigui aproximadament vuit-centes vegades més lleuger en l'aigua que no pas en l'aire. Aquest és un motiu suficient perquè un animal o una planta aquàtics no necessitin un esquelet d'estructura tan complexa com els que calen per a la vida terrestre. Ara bé, no totes les propietats de l'aigua comporten avantatges per a la vida, com és un esquelet més simple. El fet que l'oxigen tingui una solubilitat molt limitada en l'aigua, fa que respirar en el si d'aquest medi sigui un problema molt important. Els animals i les plantes aquàtics han hagut de resoldre aquest problema desenvolupant sistemes de respiració molt sofisticats, com ara les brànquies o ganyes.

Com podem apreciar, el fet de viure envoltat d'aigua no és un gran avantatge, i tampoc no ho és viure en la més completa sequedat del desert. Els organismes que han aconseguit viure en aquestes terres tan seques no són, des de cap punt de vista, menys dependents de l'aigua; al contrari, el preu que han hagut de pagar per poder sobreviure en aquestes condicions és el desenvolupament de mecanismes molt refinats de conservació d'aigua.

3.22. L'AIGUA ÉS LA MATRIU DE LA VIDA

Totes les experiències que hem anat recollint en aquest curt viatge ens aboquen a una sola conclusió: l'aigua i la vida en aquest planeta són dues coses perfectament unides i inseparables. La vida ha hagut de fer-se compatible amb les propietats extraordinàries

Aigua

d'una de les poques substàncies que no contenen carboni que es presenta en estat natural com a líquid a la Terra, i això ha fet que l'aigua hagi esdevingut la matriu de la vida.

Per acabar, res millor que la crua objectivitat de les xifres per incidir en aquesta interrelació fonamental entre aigua i vida. Les tres formes de l'aigua —gel, líquid i vapor— són molt abundants a la Terra, però ben poca proporció està disponible per al consum humà. El 97 % del total d'aigua és massa salada i el 75 % de l'aigua dolça està en forma sòlida immobilitzada en els gels polars. Tan sols, entre la resta, és a dir, l'1 % de l'aigua total, és aigua potable, però la major part és aigua subterrània a la qual no podem accedir. En definitiva, tan sols el 0,05-0,03 % de l'aigua total, és a dir, l'aigua dels llacs i la que corre pels rius, està immediatament disponible.

Aquesta aigua dels rius, prové, evidentment, de l'atmosfera. A l'aire de l'atmosfera arriba, per evaporació de l'aigua marina, una quantitat anual que es pot estimar en uns 450.000 bilions de litres. Aquesta quantitat equival a una alçària d'aigua de 106 cm repartida uniformement en la superfície del planeta. El 75 % d'aquesta massa de vapor retorna directament als oceans en forma de pluja i una gran part hi va a parar a través dels rius. El contingut d'aigua de l'atmosfera és d'uns 12.000 bilions de litres; és per això que es calcula que l'aigua atmosfèrica es recicla trenta-set vegades cada any. Com podem constatar, el cicle de l'aigua en el planeta és molt complex, i l'aigua dolça és una mínima part de tot el procés; pertorbar-lo pot comportar conseqüències desastroses. La vida està lligada a una substància que se'ns afigura abundant, però que en realitat és un bé prou escàs com per no malgastar-lo. Mantenir aquest factor de vida no és una qüestió científica sinó econòmica i política, i per tant de difícil compromís. Mentre no es trobi una solució satisfactòria que faci que l'aigua deixi d'ésser un problema, tots hi podem contribuir: no la malgastem.

AGRAÏMENTS

Amb l'ajut de les transparències en color cedides per l'Oriol Alamany, l'encís i la bellesa de l'aigua van poder ésser apreciades sense l'ajut de paraules innecessàries en la presentació d'aquesta conferència.